

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-069589

(43)Date of publication of application : 11.03.1994

(51)Int.Cl. H01S 3/18

(21)Application number : 04-218916

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 18.08.1992

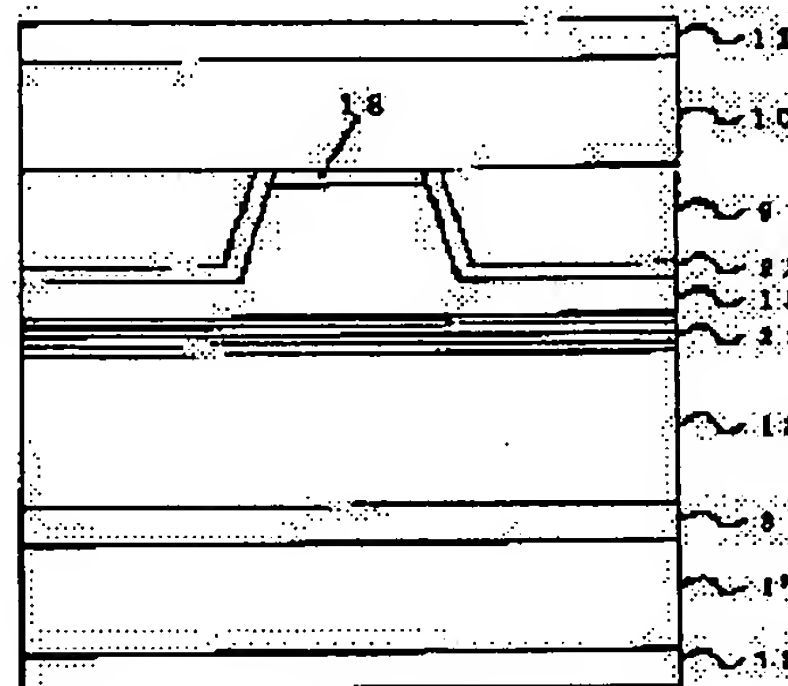
(72)Inventor : TANAKA TOSHIKI
KAWANAKA SATOSHI
YANAGISAWA HIRONORI

(54) SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT

(57)Abstract:

PURPOSE: To ensure carrier confinement of deforming band structure in the lateral direction of an active layer, and setting the band gap energy in a stripe region to be small.

CONSTITUTION: On an N-type GaAs substrate 1' having a face inclined at 15.8° from the (100) face toward the [110] [-1-10] direction, the following are epitaxially grown; an N-type GaInP buffer layer 3, an N-type $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ optical waveguide layer 13, a multiplex quantum well active layer 21, a P-type $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ optical waveguide layer 15, and a P-type Ga_{0.5}In_{0.5}P buffer layer 18. By photolithography, an SiO₂ mask is formed. By chemical etching, the layer 18 and the layer 15 are etched and eliminated, until the layer 15 of about 0.15 μm in thickness is left, thereby forming a ridge stripe. While the SiO₂ mask is left as it is, an N-type Ga δ In $1-\delta$ P strain thin film layer 22 and an N-type GaAs current constriction layer 9 serving as a light absorption layer are selectively grown. After that, a P-type GaAs contact layer 10 is buried and grown, and then a P electrode 11 and an N electrode 12 are evaporated. Thus an element is obtained.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-69589

(43)公開日 平成6年(1994)3月11日

(51)Int.Cl.⁶

H01S 3/18

識別記号

庁内整理番号

FI

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数13(全 8 頁)

(21)出願番号 特願平4-218916

(22)出願日 平成4年(1992)8月18日

(71)出願人 00005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 田中 俊明

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 川中 敏

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 柳沢 浩徳

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74)代理人 弁理士 小川 勝男

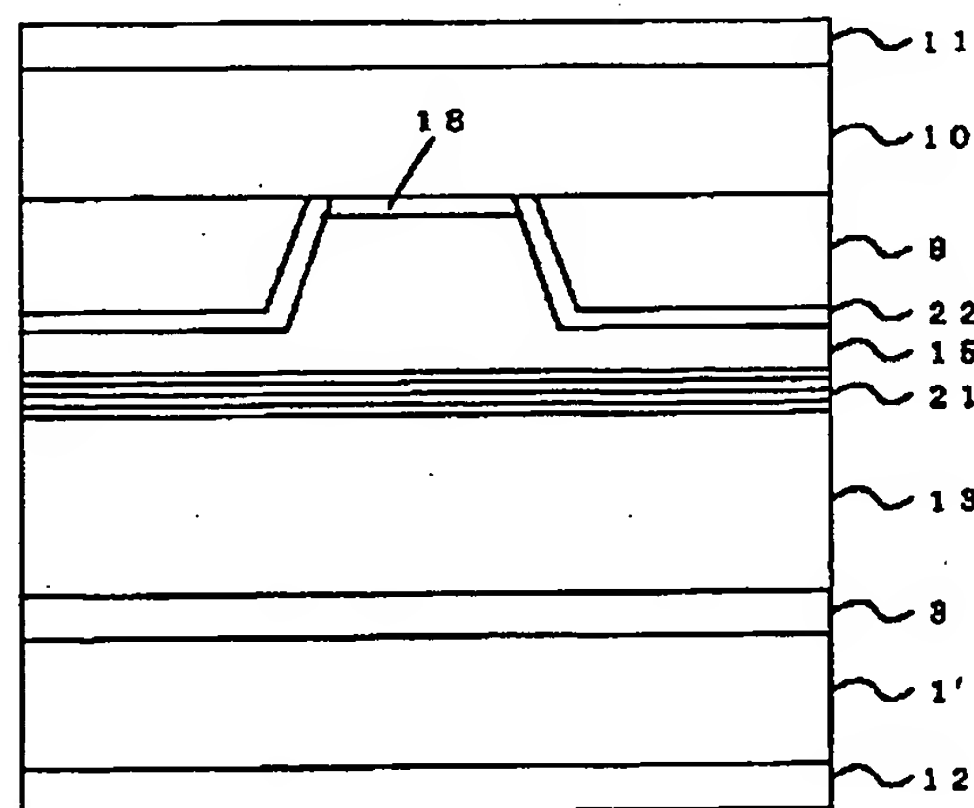
(54)【発明の名称】 半導体レーザ素子

(57)【要約】 (修正有)

【目的】 活性層横方向に対してバンド構造を変形させストライプ領域のバンドギャップエネルギーを小さく設定してキャリア閉じ込めを確保させる。

【構成】 (001)面から[110] [-1-10] 方向に15.8°傾いた面を有するn型GaAs基板1'の上にn型GaInPバッファ層3, n型 $(\text{Al}_{1-y}\text{Ga}_y)_x\text{In}_{1-x}$ P光導波層13, 多重量子井戸活性層21, p型 $(\text{Al}_{1-y}\text{Ga}_y)_x\text{In}_{1-x}$ P光導波層15, p型 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ バッファ層18をエピタキシャル成長した。次に、ホトリソグラフィにより SiO_2 マスクを形成し、ケミカルエッチングにより層15を約0.15 μm 残すところまで層18と層15をエッチング除去してリッジストライプを形成する。さらに、 SiO_2 マスクを残したまま、n型 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 歪薄膜層22, n型GaAs電流狭窄兼光吸収層9を選択成長する。この後、p型GaAsコンタクト層10を埋め込み成長し、次にp電極11及びn電極12をそれぞれ蒸着して素子を得る。

図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】半導体基板上に、有機金属気相成長 (MOCVD) 法又は分子線エビタキシー (MBE) 法によりエビタキシャル成長された禁制帯幅の大きな光導波層と、それらに挟まれた該半導体基板又は該光導波層とは格子整合しない歪活性層を設けたダブルヘテロ構造において、該光導波層内に上記歪活性層とは別に歪薄膜層が平行して設けられており、かつ該歪薄膜層が該歪活性層に近接して上側か下側の片側又は上下両側に挿入されて構成されることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 2】請求項 1 記載の半導体レーザ素子において、該歪活性層に近接して設けられる該歪薄膜層が薄膜層を数周期にわたって繰り返された超格子構造をとることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 3】請求項 1 又は 2 記載の半導体レーザ素子において、該歪薄膜層は該歪活性層に $0.01 \sim 0.5 \mu\text{m}$ の範囲において近接していることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 4】請求項 1, 2 又は 3 記載の半導体レーザ素子において、該歪活性層に近接する歪薄膜層は、レーザ横モードを制御するストライプ構造が作製された後に除去されて、横方向に見て該ストライプ幅に相当する分だけが残されているか或いは該ストライプの両側にのみ残されているかのどちらかであることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 5】請求項 1, 2, 3 又は 4 記載の半導体レーザ素子において、該歪活性層に圧縮歪を導入するとき、ストライプ作製後に横方向に見て該歪薄膜層を該ストライプ幅に相当する領域に残し、この場合該歪薄膜層には圧縮歪を導入するものとし、一方該歪活性層に引張歪を導入する場合には、横方向に見て該歪薄膜層を該ストライプの両側に残し、この場合該歪薄膜層に引張歪を導入するものとし、該歪薄膜層を設けることによりストライプ領域又はその両側の領域において歪活性層に加わる応力とは逆方向に応力が作用することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 6】請求項 1, 2 又は 3 記載の半導体レーザ素子において、レーザ横モードを制御するリッジストライプ構造が作製された後に、該歪活性層に近接して設けられる歪薄膜層が該リッジストライプ両側に選択成長により設けられることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 7】請求項 6 記載の半導体レーザ素子において、該リッジストライプ構造を作製しかつ選択成長により歪薄膜層が設けられる場合には、歪活性層には引張歪を導入しかつ歪薄膜層には圧縮歪を導入することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 8】請求項 1, 2, 3, 4, 5, 6 又は 7 記載の半導体レーザ素子において、該歪薄膜層を上記のように設けたことにより歪活性層の横方向に対して、作製されたストライプ領域に相当する部分の歪活性層バンドギ

2、

ャップエネルギーがストライプ両側に相当する領域より小さいことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 9】請求項 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 又は 8 記載の半導体レーザ素子において、該歪活性層に近接した歪薄膜層に対しては、該歪活性層に導入する歪量と絶対値が等しいか或いはそれよりも大きな歪量を設定することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 10】請求項 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 又は 9 記載の半導体レーザ素子において、該歪活性層は多重量子井戸構造とし、量子井戸層に対しては圧縮歪或いは引張歪のどちらかを導入し、量子障壁層に対しては無歪か又は歪を導入するが該量子井戸層に導入した歪量を打ち消さないものとすることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 11】請求項 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 又は 10 記載の半導体レーザ素子において、歪を導入した該量子井戸層及び該量子障壁層が繰り返された多重量子井戸構造活性層の全体膜厚、及び歪薄膜層の全体膜厚が臨界膜厚を超えない範囲で設定されていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 12】請求項 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 又は 11 記載の半導体レーザ素子において、該半導体基板に用いる材料が $\text{GaAs}_{1-z}\text{P}_z$ ($0 \leq z \leq 1$) であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 13】請求項 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 又は 12 記載の半導体レーザ素子において、該半導体基板に用いる基板面方位が (001) 面から $[110]$ $[-1-10]$ 方向又は $[1-10]$ $[-110]$ 方向に 0° から 54.7° の範囲、望ましくは 0° 以上 25° 以下の傾いた基板面を有することを特徴とする半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光通信、光情報端末及び光応用計測用の光源に適する半導体レーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の技術では、低閾値化を図ることを目標にして、半導体基板とは格子定数が整合しない組成を設定し圧縮歪を導入した歪量子井戸構造レーザについて、例えば公知例 1) フォトニクス・テクノロジー・レターズ 1990 年、2 巻、540 頁 (IEEE Photonics Technology Lett., 2, 540 (1990).) 又は公知例 2) エレクトロニクス・レターズ 1992 年、28 巻、628 頁 (Electron. Lett., 28, 628 (1992).) において述べられている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術では、歪量子井戸層活性層により素子の低閾値動作を図ることは述べられているが、発振波長が短波長領域ではまだ不十分であり、さらに技術的に工夫することにより低閾値化

を図ることについては述べていない。また、高出力特性を得るためにキンクレベルを向上させることについて配慮されておらず、そのためのレーザ構造についても詳細な内容を言及していない。

【0004】本発明の目的は、歪多重量子井戸(MQW)構造活性層に対してこの活性層とは別に歪薄膜層を設けることにより、歪活性層横方向に対してバンド構造を変形させてストライプ領域の両側におけるバンドギャップエネルギーを大きく設定することにより、キャリア閉じ込めを向上させることにある。この結果、歪MQW構造活性層だけで特別なレーザ構造を設けていない従来の場合よりも、低閾値動作が達成できた上に、かつ活性層横方向における注入キャリア密度を安定に保つことが可能となるために、キンクレベルを従来構造に比較して向上させ高出力特性を改善したレーザ素子を提供できる。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための手段を以下に説明する。

【0006】歪MQW構造活性層の横方向に対して、横モード制御ストライプ構造にレーザ光が導波される領域のバンドギャップエネルギーが小さくストライプ両側の方でエネルギーが大きくなるように設定させる。これを達成するには、歪MQW構造活性層とは別に歪薄膜層を光導波層内に設けて、この歪薄膜層をストライプ構造作製時に加工除去することによる。或いは、歪MQW構造活性層を有する光導波層に体してストライプ構造を作製した後に、歪薄膜層を選択成長によりストライプ両側に設けることによる。歪MQW構造活性層の横方向に対してバンド構造の制御を行うこと、またストライプ領域にバンドギャップエネルギー差をストライプ両側との間に持たせることについては、活性層に導入する歪が圧縮歪か或いは引張歪かまたその歪量より残留応力を判別し、歪薄膜層に導入する圧縮歪又は引張歪の選択、その歪量を決定することにより可能である。

【0007】

【作用】目的を達成するため、上記手段について説明する。

【0008】本発明では、歪MQW構造を用いて活性層横方向におけるバンド構造の制御を行う。歪活性層におけるバンド構造の概略は、図11に示したように導入する歪の種類により伝導帯 E_c 及び価電子帯(重い正孔帯 E_{HH} 又は軽い正孔帯 E_{LH})が変化しバンドギャップエネルギー E_g が異なる。応力歪だけによるバンド構造の変化を考慮した場合、引張歪を導入したときは圧縮歪のときより E_g は小さくなる。このことを、半導体レーザの活性層に導入した歪MQW構造の横方向において考えてみる。

【0009】図12(a)に示したように、活性層に圧縮歪MQW構造を用いる場合には、これと近接して圧縮歪の薄膜層を光導波層内に設ける。リッジストライプ構造

を作製しストライプ両側の歪薄膜層をエッチングにより除去すると、ストライプ領域に残った歪薄膜層における圧縮歪の応力が矢印の方向に外側に向かって解放されることになる。この応力ベクトルが、歪薄膜層の下部にある無歪の光導波層を介して歪MQW構造の領域IIにおける圧縮歪の応力とは反対方向に作用し絶対値を小さくさせる。この結果、歪MQW構造の領域IIにおける圧縮歪の応力が小さくなり見かけ上歪量が小さくなる。従って、領域I及びIIIにおけるよりもバンドギャップエネルギーは小さくなる。この活性層横方向のバンドギャップエネルギー差は、歪MQW構造活性層と歪薄膜層に導入した歪量及びその差、さらに両層の感覚に依存して、数10meVから100meV程度になる。

【0010】また、図12(b)に示したように、活性層に引張歪MQW構造を用いる場合には、ストライプ両側において引張歪の応力を小さくする方が有利になるため、リッジストライプを作製した後、圧縮歪の薄膜層を選択成長により近接して設けることが妥当である。この圧縮歪薄膜層は、リッジストライプ構造を作製した後に設けるため、そのまま圧縮歪による応力が下部の光導波層を介して働き、歪MQW構造活性層の領域I及びIIIにおける引張歪の応力を小さくさせ見かけ上歪量を小さくさせる。この結果、歪MQW構造の領域I及びIIIにおけるバンドギャップエネルギーは領域IIよりも大きくなる。この活性層横方向のバンドギャップエネルギー差は、上記に述べたパラメータに依存して数10meVから100meV程度になる。

【0011】以上のように、歪MQW構造の横方向に対して、歪薄膜層の形状を利用してバンドギャップエネルギー差を設けることができ、ストライプ領域においてキャリア閉じ込めを確保することができる。このバンドギャップエネルギー差を大きく保つことがキャリア閉じ込めを向上させるので、歪薄膜層に導入する歪量は臨界量の範囲でできるだけ大きく設定し、歪MQW活性層の歪量との差を大きくとる方が望ましい。従来リッジストライプ構造では、活性層横方向に見るとキャリア閉じ込め効果が小さく、また電流注入時に横方向にキャリアが拡散してしまい注入キャリア分布を安定に保つことが困難であった。本発明によると、歪MQW構造活性層の横方向にキャリア閉じ込め効果を持たせることができるので、従来の閾値電流密度に対して2/3から1/2の低閾値で連続動作が可能となった。また、キャリアの高注入時においても、活性層横方向に対してキャリアの拡散を抑制することができるので、注入キャリア密度分布の不安定性に基づくレーザ光横モード分布の変動を低減し、キンクレベルを従来より2倍以上に向上させることが可能となった。

【0012】以上、本発明により従来に比べて低閾値でかつ高出力特性を改善することができた。

【0013】

5

【実施例】（実施例1）本発明の一実施例を図1、図2により説明する。まず図1において、(001)面を有するn型GaAs基板1を用いて、その上にn型GaAsバッファ層2 ($d=0.5\mu\text{m}$, $N_b=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$), n型 $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_{1-\alpha}\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 光導波層3 ($d=2.0\mu\text{m}$, $N_b=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, $y=0$, α はGaAs基板と格子整合する値0.5), 膜厚5nmのアンドープ $\text{Ga}_{1-\gamma}\text{In}_{1-\gamma}\text{As}$ ($\gamma=0.25$, 格子不整+1.8%)歪量子井戸層3層と、膜厚8nmのアンドープGaAs量子障壁層2層、及び量子井戸層両側にバンドギャップエネルギーを階段状に設定した光分離閉じ込め層(膜厚10nmのアンドープGaAs障壁層、及び光導波層3に至るまで β を0.30, 0.40と変えそれぞれの膜厚を7nmに設定したアンドープ $\text{Ga}_{1-\beta}\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ 光閉じ込め層)から構成される(多重量子井戸層周辺の伝導帯バンド構造概略は図2のようになる)多重量子井戸活性層4, p型 $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_{1-\alpha}\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 光導波層5 ($d=0.10\mu\text{m}$, $N_A=7\sim 8\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$, $y=0$, α はGaAs基板と格子整合する値0.5), p型GaAs薄膜層6 ($d=0.005\mu\text{m}$, $N_A=7\sim 8\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$), p型 $\text{Ga}_{1-\delta}\text{In}_{1-\delta}\text{As}/\text{Ga}_{1-\alpha}\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 歪光導波層7 ($\text{Ga}_{1-\delta}\text{In}_{1-\delta}\text{As}$ 3層 ($d=0.002\mu\text{m}$, $N_A=7\sim 8\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$, δ は0.65であり格子不整+2.5%), α はGaAs基板と格子整合する値0.5), p型 $\text{Ga}_{1-\alpha}\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 光導波層8 ($d=1.90\mu\text{m}$, $N_A=8\sim 9\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$, α はGaAs基板と格子整合する値0.5)を成長温度650℃において有機金属気相成長法によりエピタキシャル成長した。次に、ホトリソグラフィにより SiO_2 マスク(膜厚 $d=0.2\mu\text{m}$, ストライプ幅 $3\mu\text{m}$)を形成し、ケミカルエッチングにより層6に到るまで層8と層7をエッチング除去して順メサ或いは逆メサ形状にリッジストライプを形成する。次に、 SiO_2 マスクを残したまま、n型GaAs電流狭窄兼光吸収層9 ($d=1.5\mu\text{m}$, $N_b=2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)を選択成長する。さらに、p型GaAsコンタクト層10 ($d=2\sim 3\mu\text{m}$, $N_A=5\times 10^{18}\sim 1\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$)を埋め込み成長した後、p電極11及びn電極12を蒸着する。この後、劈開スクライプして素子の形に切り出し、図1の断面を有する素子を得る。

【0014】本実施例における圧縮歪を導入した多重量子井戸構造活性層4に対して、圧縮歪を導入した歪超格子層7を設けることにより、ストライプ領域における歪活性層横方向のバンドギャップエネルギー差が従来ほぼ0であったのに対し約100meV設定することができた。その結果、共振器長600 μm の素子において室温における閾値電流は従来15~20mAであったが5~10mAの低閾値で直流動作し、発振波長970~990nmを有するレーザ素子を得た。最高レーザ発振温度は170~180℃が得られ、動作温度60℃における光出力200mWの定出力動作で2000時間以上の長期信頼性が達成された。

【0015】（実施例2）本発明の他実施例を図3、図4により説明する。まず図3において、(001)面から[110] [-1-10] 方向に15.8°傾いた面を有するn型Ga

6

As基板1'を用いて、その上にn型GaInPバッファ層3 ($d=0.1\mu\text{m}$, $N_b=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$), n型 $(\text{Al}_{y_2}\text{Ga}_{1-y_2})_{1-\alpha}\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 光導波層13 ($d=2.0\mu\text{m}$, $N_b=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, $y_2=0.7$, α はGaAs基板と格子整合する値0.5), 膜厚7nmのアンドープ $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-\gamma}\text{In}_{1-\gamma}\text{P}$ ($x=0$, $\gamma=0.30$, 格子不整+1.6%)量子井戸層2層と、膜厚8nmのアンドープ $(\text{Al}_{y_1}\text{Ga}_{1-y_1})_{1-\beta}\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ ($y_1=0.5$, β はGaAs基板と格子整合する値0.5)量子障壁層1層、及び量子井戸層両側にAl組成を階段状に設定した光分離閉じ込め層(障壁層から光導波層に至るまでAl組成を $y_3=0.5$ から0.7まで0.05ずつ段階的に増やし各膜厚7nmとしたアンドープ $(\text{Al}_{y_3}\text{Ga}_{1-y_3})_{1-\beta}\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ 層 ($y_3=0.5, 0.55, 0.6, 0.65$, β はGaAs基板と格子整合する値0.5)とから構成される(量子井戸層周辺の伝導帯バンド構造概略は図4のようになる)多重量子井戸活性層14, p型 $(\text{Al}_{y_2}\text{Ga}_{1-y_2})_{1-\alpha}\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 光導波層15 ($d=0.15\mu\text{m}$, $N_A=5\sim 7\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$, $y_2=0.7$, α はGaAs基板と格子整合する値0.5), p型 $\text{Ga}_{1-\delta}\text{In}_{1-\delta}\text{P}/(\text{Al}_{y_2}\text{Ga}_{1-y_2})_{1-\alpha}\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 歪光導波層16 ($\text{Ga}_{1-\delta}\text{In}_{1-\delta}\text{P}$ 3層 ($d=0.002\mu\text{m}$, $N_A=7\sim 8\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$, δ は0.20であり格子不整+2.3%), $y_2=0.7$, α はGaAs基板と格子整合する値0.5), p型 $(\text{Al}_{y_2}\text{Ga}_{1-y_2})_{1-\alpha}\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 光導波層17 ($d=1.85\mu\text{m}$, $N_A=8\sim 9\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$, $y_2=0.7$, α はGaAs基板と格子整合する値0.5), p型 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ バッファ層18 ($d=0.03\mu\text{m}$, $N_A=2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)を成長温度760℃において有機金属気相成長法によりエピタキシャル成長した。次に、ホトリソグラフィにより SiO_2 マスク(膜厚 $d=0.2\mu\text{m}$, ストライプ幅 $4\mu\text{m}$)を形成し、ケミカルエッチングにより層15に到るまで層18と層17及び層16をエッチング除去してリッジストライプを形成する。この後は、実施例1と同様にして、素子を作製して図3の断面を有する素子を得る。

【0016】本実施例における圧縮歪を導入した多重量子井戸構造活性層14に対して、圧縮歪を導入した歪超格子層16を設けることにより、ストライプ領域における歪活性層横方向のバンドギャップエネルギー差が従来ほぼ0であったのに対し約70meV設定することができた。その結果、共振器長600 μm の素子において室温における閾値電流は従来20~30mAであったが10~20mAの低閾値で直流動作し、発振波長680~690nmを有するレーザ素子を得た。最高レーザ発振温度は140~150℃が得られ、動作温度60℃における光出力100mWの定出力動作で2000時間以上の長期信頼性が達成された。

【0017】（実施例3）本発明の一実施例を図5、図6により説明する。まず図5において、(001)面から[110] [-1-10] 方向に15.8°傾いた面を有するn型GaAs基板1'を用いて、その上にn型GaInPバッファ層3 ($d=0.5\mu\text{m}$, $N_b=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$), n型 $(\text{Al}_{y_2}\text{Ga}_{1-y_2})_{1-\alpha}\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 光導波層3 ($d=1.20\mu\text{m}$, $N_b=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, $y_2=0.7$, α はGaAs基板と格子整合する値0.5), 膜厚7nmのアン

7

ドーブ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_{1-y}\text{P}$ ($x=0.10$, $y=0.44$, 格子不整+0.6%)歪量子井戸層5層と、膜厚5nmのアンドーブ($\text{Al}_{y_1}\text{Ga}_{1-y_1}\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ ($y_1=0.5$, β はGaAs基板と格子整合する値0.5)量子障壁層4層、及び量子井戸層両側にAl組成を階段状に設定した光分離閉じ込め層(障壁層から光導波層に至るまでAl組成 y_3 を0.5から0.7まで0.05ずつ段階的に変化させ、それぞれの膜厚を7nmに設定したアンドーブ($\text{Al}_{y_3}\text{Ga}_{1-y_3}\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ ($y_3=0.5, 0.55, 0.6, 0.65$, β はGaAs基板と格子整合する値0.5)から構成される(多重量子井戸層周辺の伝導帯バンド構造概略は図6のようになる)多重量子井戸活性層19, p型($\text{Al}_{y_2}\text{Ga}_{1-y_2}\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 光導波層15 ($d=0.15\mu\text{m}$, $N_A=5\sim 7\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$, $y_2=0.7$, α はGaAs基板と格子整合する値0.5), p型Ga δ In $1-\delta$ P/($\text{Al}_{y_2}\text{Ga}_{1-y_2}\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 歪光導波層20 (Ga δ In $1-\delta$ P4層 ($d=0.0015\mu\text{m}$, $N_A=7\sim 8\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$, δ は0.20であり格子不整+2.3%), $y_2=0.7$, α はGaAs基板と格子整合する値0.5), p型($\text{Al}_{y_2}\text{Ga}_{1-y_2}\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 光導波層17 ($d=1.05\mu\text{m}$, $N_A=8\sim 9\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$, $y_2=0.7$, α はGaAs基板と格子整合する値0.5), p型Ga 0.5 In 0.5 Pバッファ層18 ($d=0.03\mu\text{m}$, $N_A=2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)を成長温度760℃において有機金属気相成長法によりエピタキシャル成長した。次に、ホトリソグラフィによりSiO₂マスク(膜厚 $d=0.2\mu\text{m}$, ストライプ幅4 μm)を形成し、ケミカルエッチングにより層15に到るまで層18と層17及び層20をエッチング除去してリッジストライプを形成する。この後は、実施例1及び2と同様にして、素子を作製して図5の断面を有する素子を得る。

【0018】本実施例における圧縮歪を導入した多重量子井戸構造活性層19に対して、圧縮歪を導入した歪超格子層20を設けることにより、ストライプ領域における歪活性層横方向のバンドギャップエネルギー差が従来ほぼ0であったのに対し約140meV設定することができた。その結果、共振器長600 μm の素子において室温における閾値電流は従来70~80mAであったが40~50mAの低閾値で直流動作し、発振波長630~640nmを有するレーザ素子を得た。最高レーザ発振温度は90~100℃が得られ、動作温度50℃における光出力20mWの定出力動作で2000時間以上の長期信頼性が達成された。

【0019】(実施例4)本発明の他実施例を図7、図8により説明する。まず図7において、(001)面から[110] [-1-10] 方向に15.8°傾いた面を有するn型GaAs基板1'を用いて、その上にn型GaInPバッファ層3 ($d=0.5\mu\text{m}$, $N_D=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$), n型($\text{Al}_{y_2}\text{Ga}_{1-y_2}\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 光導波層13 ($d=1.2\mu\text{m}$, $N_D=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, $y_2=0.7$, α はGaAs基板と格子整合する値0.5), 膜厚7nmのアンドーブ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_{1-y}\text{P}$ ($x=0$, $y=0.58$, 格子不整-0.5%)量子井戸層5層と、膜厚5nmのアンドーブ($\text{Al}_{y_1}\text{Ga}_{1-y_1}\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ ($y_1=0.5$, β はGaAs基板と格子整合する

8

値0.5)量子障壁層4層、及び量子井戸層両側にAl組成を階段状に設定した光分離閉じ込め層(障壁層から光導波層に至るまでAl組成を $y_3=0.5$ から0.7まで0.05ずつ段階的に増やし各膜厚7nmとしたアンドーブ($\text{Al}_{y_3}\text{Ga}_{1-y_3}\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ ($y_3=0.5, 0.55, 0.6, 0.65$, β はGaAs基板と格子整合する値0.5)とから構成される(量子井戸層周辺の伝導帯バンド構造概略は8図のようになる)多重量子井戸活性層21, p型($\text{Al}_{y_2}\text{Ga}_{1-y_2}\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 光導波層15 ($d=1.2\mu\text{m}$, $N_A=5\sim 9\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$, $y_2=0.7$, α はGaAs基板と格子整合する値0.5), p型Ga 0.5 In 0.5 Pバッファ層18 ($d=0.03\mu\text{m}$, $N_A=2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)を成長温度760℃において有機金属気相成長法によりエピタキシャル成長した。次に、ホトリソグラフィによりSiO₂マスク(膜厚 $d=0.2\mu\text{m}$, ストライプ幅4 μm)を形成し、ケミカルエッチングにより層15を約0.15 μm 残すところまで層18と層15をエッチング除去してリッジストライプを形成する。この後は、SiO₂マスクを残したまま、n型Ga δ In $1-\delta$ P歪薄膜層22 ($d=0.006\mu\text{m}$, $N_D=2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$, δ は0.20であり格子不整+2.3%), n型GaAs電流狭帯兼光吸収層9 ($d=1.0\mu\text{m}$, $N_D=2\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)を選択成長する。この後、実施例1, 2及び3と同様にして、図7の断面を有する素子を得る。

【0020】本実施例における引張歪を導入した多重量子井戸構造活性層21に対して、圧縮歪を導入した歪層22を選択成長によって設けることにより、ストライプ領域における歪活性層横方向のバンドギャップエネルギー差が従来ほぼ0であったのに対し約160meV設定することができた。その結果、共振器長600 μm の素子において室温における閾値電流は従来60~70mAであったが30~40mAの低閾値で直流動作し、発振波長630~640nmを有するレーザ素子を得た。最高レーザ発振温度は100~110℃が得られ、動作温度60℃における光出力20mWの定出力動作で2000時間以上の長期信頼性が達成された。

【0021】(実施例5)本発明の他実施例を図9、図10により説明する。まず図9において、(001)面から[110] [-1-10] 方向に15.8°傾いた面を有するn型GaP基板23上に、n型GaP光導波層24 ($d=1\mu\text{m}$, $N_D=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$), 膜厚5nmのアンドーブ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_{1-y}\text{P}$ ($x=0$, $y=0.70$, 格子不整+2.2%)歪量子井戸層3層と、膜厚8nmのアンドーブ($\text{Al}_{y_1}\text{Ga}_{1-y_1}\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ ($y_1=0$, $\beta=0.90$, 格子不整+0.7%)量子障壁層2層、及び歪量子井戸層両側に光分離閉じ込め層(膜厚15nmとしたアンドーブ($\text{Al}_{y_3}\text{Ga}_{1-y_3}\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ ($y_3=0$, $\beta=0.90$, 格子不整+0.7%)とから構成される(量子井戸層周辺の伝導帯バンド構造概略は図10のようになる)多重量子井戸活性層25, p型GaP光導波層26 ($d=0.15\mu\text{m}$, $N_A=5\sim 7\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$), p型Ga δ In $1-\delta$ P歪薄膜層27 ($d=0.002\mu\text{m}$, $N_A=5\sim 7\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$, δ は0.65であり格子不整+2.7%), p型GaP光導波層28 ($d=1\mu\text{m}$, $N_A=7\sim 9\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$)

m^{-3})を成長温度 760°C において有機金属気相成長法によりエピタキシャル成長した。この後、ホトリソグラフィにより SiO_2 マスク (膜厚 $d=0.2\mu\text{m}$, ストライプ幅 $3\mu\text{m}$)を形成し、ケミカルエッチングにより層 26 に到るまで層 28 と層 27 をエッチング除去してリッジストライプを形成する。次に、 SiO_2 マスクを残したまま、 n 型 GaP 電流狭窄兼光吸収層 29 ($d=1.0\mu\text{m}$, $N_D=3\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)を選択成長する。さらに、 p 型 GaP コンタクト層 30 ($d=2\sim 3\mu\text{m}$, $N_A=5\times 10^{18}\sim 1\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$)を埋め込み成長した後、 p 電極 11 及び n 電極 12 を蒸着する。さらに、劈開スクライプして素子の形に切り出し、図 10 の断面を有する素子を得る。

【0022】本実施例における圧縮歪を導入した多重量子井戸構造活性層 25 に対して、圧縮歪を導入した歪薄膜層 27 を設けることにより、ストライプ領域における歪活性層横方向のバンドギャップエネルギー差が従来ほぼ 0 であったのに対し約 50meV 設定することができた。その結果、共振器長 $600\mu\text{m}$ の素子において室温における閾値電流は従来 $80\sim 90\text{mA}$ であったが $40\sim 50\text{mA}$ の低閾値で直流動作し、発振波長 $530\sim 540\text{nm}$ を有するレーザ素子を得た。最高レーザ発振温度は $80\sim 90^\circ\text{C}$ が得られ、動作温度 50°C における光出力 10mW の定出力動作で 2000 時間以上の長期信頼性が達成された。

【0023】

【発明の効果】本発明により、歪 MQW 構造活性層の横方向におけるバンド構造の制御による半導体レーザの性能を向上させることが実現できた。活性層横方向のストライプ構造に沿って、ストライプ両側にバンドギャップエネルギーの障壁を $50\sim 150\text{meV}$ 程度設定することができ、その結果ストライプ部の歪活性層領域においてキャリア閉じ込めを確保することが可能となった。本発明では、従来の閾値電流密度の $2/3$ から $1/2$ の低閾値動作を可能とし、かつ活性層横方向における注入キャリア密度の不安定性を減少させたためにキンクレベルを向上させることができ、従来の 2 倍以上高出力特性を改善させることが可能であった。

【0024】本発明では、GaAs 基板を用いた GaInAs 及び AlGaInP 材料系を用いて主に説明したが、他の材料系で組成を変えることにより半導体基板と格子不整となる In GaAsP/InP 系にも本発明を適用できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の一実施例を示す素子構造断面図。

【図 2】本発明一実施例の歪多重量子井戸構造活性層及び伝導帯バンド構造概略図。

【図 3】本発明の他実施例を示す素子構造断面図。

【図 4】本発明他実施例の歪多重量子井戸構造活性層及び伝導帯バンド構造概略図。

【図 5】本発明の他実施例を示す素子構造断面図。

【図 6】本発明他実施例の歪多重量子井戸構造活性層及び伝導帯バンド構造概略図。

【図 7】本発明の他実施例を示す素子構造断面図。

【図 8】本発明他実施例の歪多重量子井戸構造活性層及び伝導帯バンド構造概略図。

【図 9】本発明の他実施例を示す素子構造断面図。

【図 10】本発明他実施例の歪多重量子井戸構造活性層及び伝導帯バンド構造概略図。

【図 11】圧縮歪、無歪及び引張歪を導入した半導体バンド構造概略図。

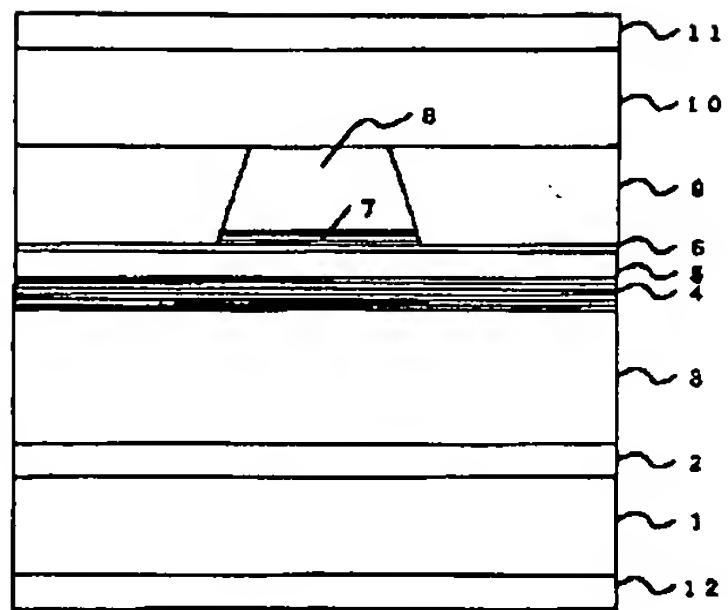
【図 12】歪多重量子井戸構造活性層及び歪薄膜層を導入したリッジストライプ構造。

【符号の説明】

1…(001)面を有した GaAs 基板、1'…(001)面から $[110]$ $[-1-10]$ 方向に 15.8° オフした n 型 GaAs 基板、
2… n 型 GaAs バッファ層、3… n 型 $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_\alpha\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ ($y=0$, $\alpha=0.5$) 光導波層、4…アンドープ $\text{Ga}_\gamma\text{In}_{1-\gamma}\text{As}/\text{GaAs}/\text{Ga}_\beta\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ 歪 MQW 構造活性層、5… p 型 $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_\alpha\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ ($y=0$, $\alpha=0.5$) 光導波層、6… p 型 GaAs 薄膜層、7… p 型 $\text{Ga}_\delta\text{In}_{1-\delta}\text{P}/\text{Ga}_\alpha\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 歪光導波層、8… p 型 $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_\alpha\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ ($y=0$, $\alpha=0.5$) 光導波層、9… n 型 GaAs 電流狭窄兼光吸収層、10… p 型 GaAs コンタクト層、11… p 電極、12… n 電極、13… n 型 $(\text{Al}_{y2}\text{Ga}_{1-y2})_\alpha\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 光導波層、14…アンドープ $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_\gamma\text{In}_{1-\gamma}\text{P}/(\text{Al}_{y1}\text{Ga}_{1-y1})_\beta\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ 歪 MQW 構造活性層、15… p 型 $(\text{Al}_{y2}\text{Ga}_{1-y2})_\alpha\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 光導波層、16… p 型 $\text{Ga}_\delta\text{In}_{1-\delta}\text{P}/(\text{Al}_{y2}\text{Ga}_{1-y2})_\alpha\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 歪光導波層、17… p 型 $(\text{Al}_{y2}\text{Ga}_{1-y2})_\alpha\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ ($y_2=0.7$, $\alpha=0.7$) 光導波層、18… p 型 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ バッファ層、19…アンドープ $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_\gamma\text{In}_{1-\gamma}\text{P}/(\text{Al}_{y1}\text{Ga}_{1-y1})_\beta\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ 歪 MQW 構造活性層、20… p 型 $\text{Ga}_\delta\text{In}_{1-\delta}\text{P}/(\text{Al}_{y2}\text{Ga}_{1-y2})_\alpha\text{In}_{1-\alpha}\text{P}$ 歪光導波層、21…アンドープ $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_\gamma\text{In}_{1-\gamma}\text{P}/(\text{Al}_{y1}\text{Ga}_{1-y1})_\beta\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ 歪 MQW 構造活性層、22… n 型 $\text{Ga}_\delta\text{In}_{1-\delta}\text{P}$ 歪薄膜光導波層、23…(001)面から $[110]$ $[1\bar{1}0]$ 方向に 15.8° オフした n 型 GaP 基板、24… n 型 GaP 光導波層、25…アンドープ $\text{Ga}_\gamma\text{In}_{1-\gamma}\text{P}/\text{Ga}_\beta\text{In}_{1-\beta}\text{P}$ 歪 MQW 構造活性層、26… p 型 GaP 光導波層、27… p 型 $\text{Ga}_\delta\text{In}_{1-\delta}\text{P}$ 歪薄膜層、28… p 型 GaP 光導波層、29… n 型 GaP 電流狭窄層、30… p 型 GaP コンタクト層。

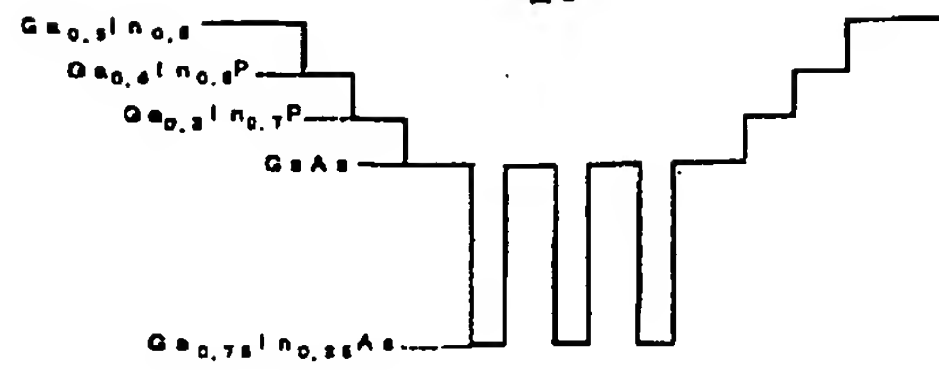
【図1】

図1



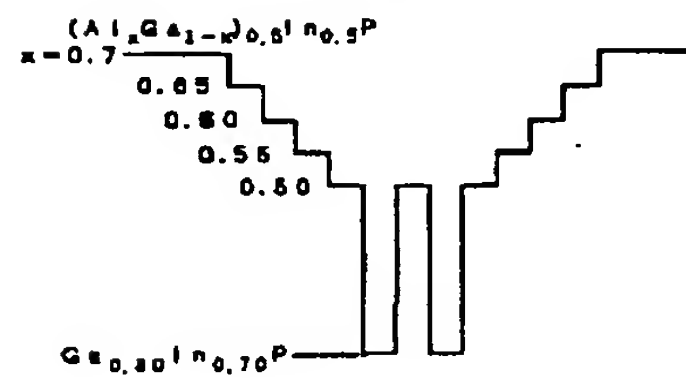
【図2】

図2



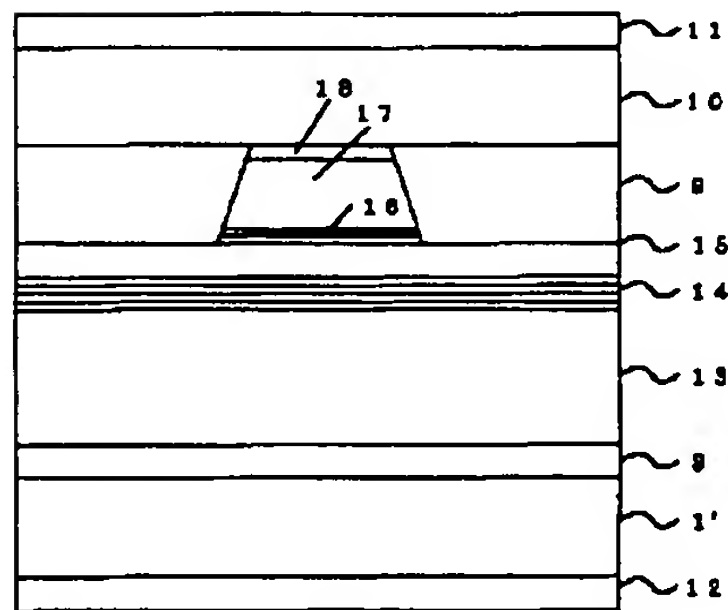
【図4】

図4



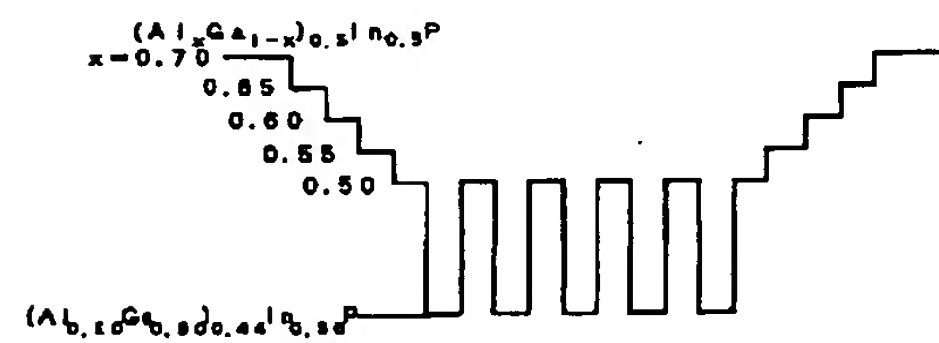
【図3】

図3



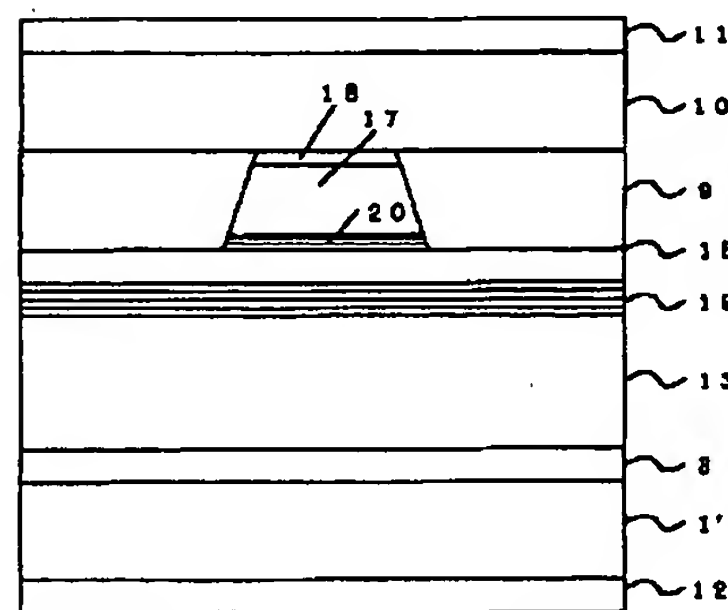
【図6】

図6



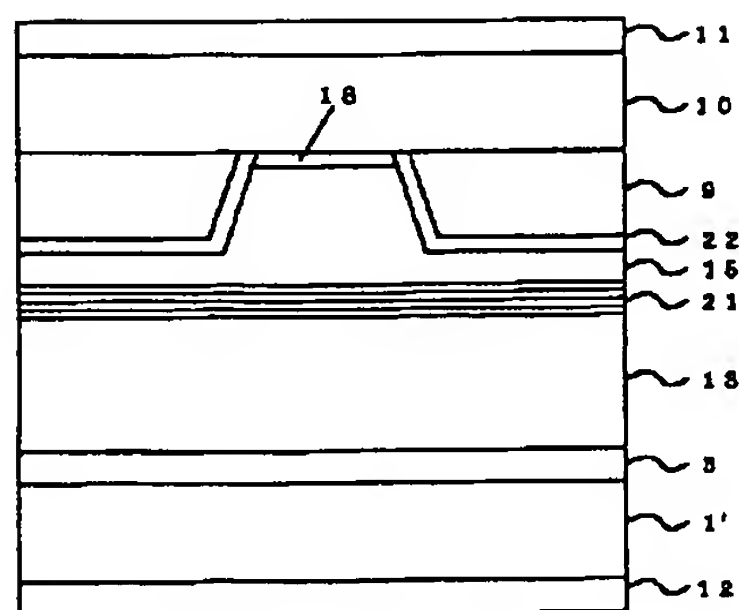
【図5】

図5

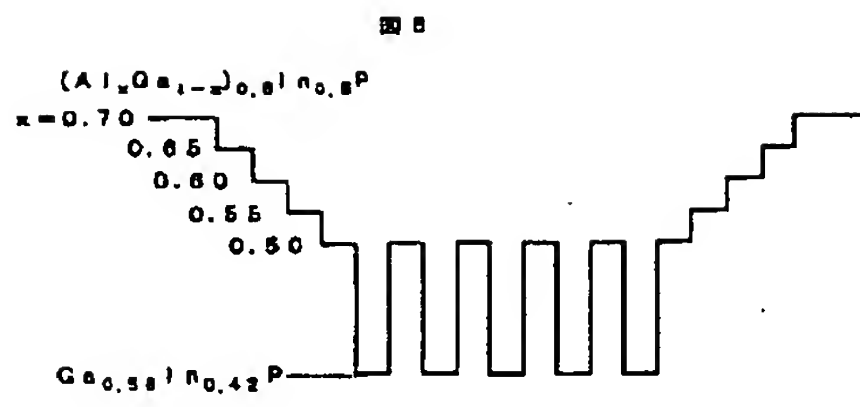


【図7】

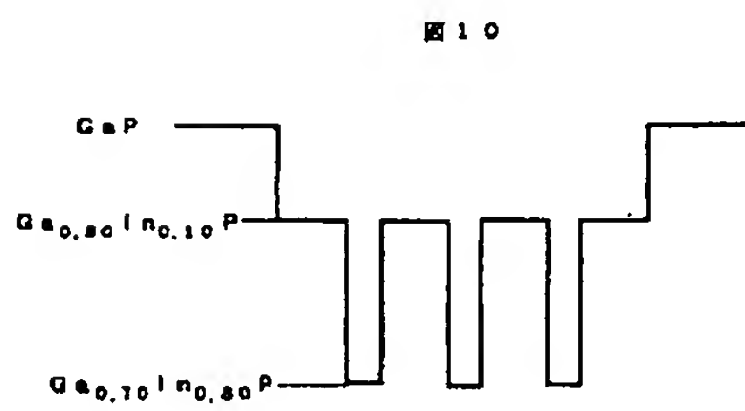
図7



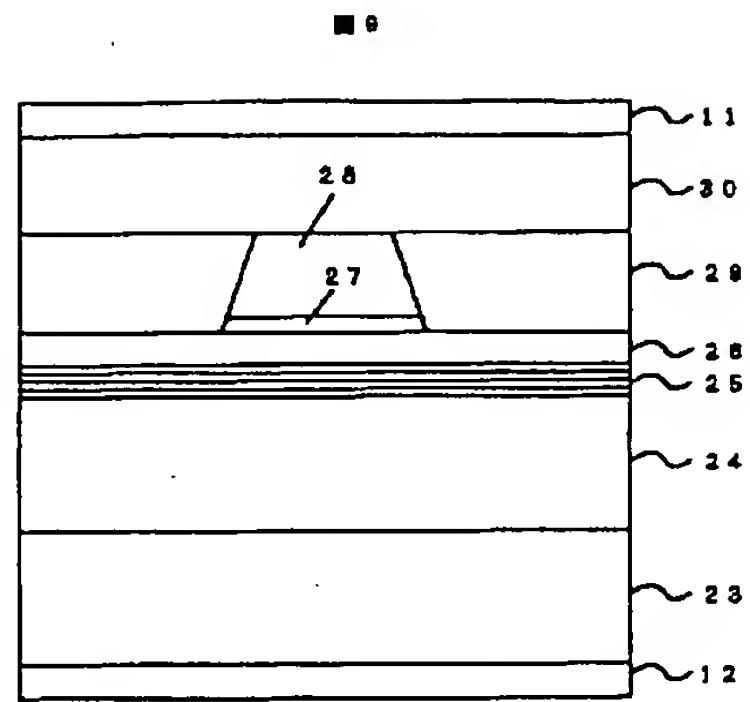
【図8】



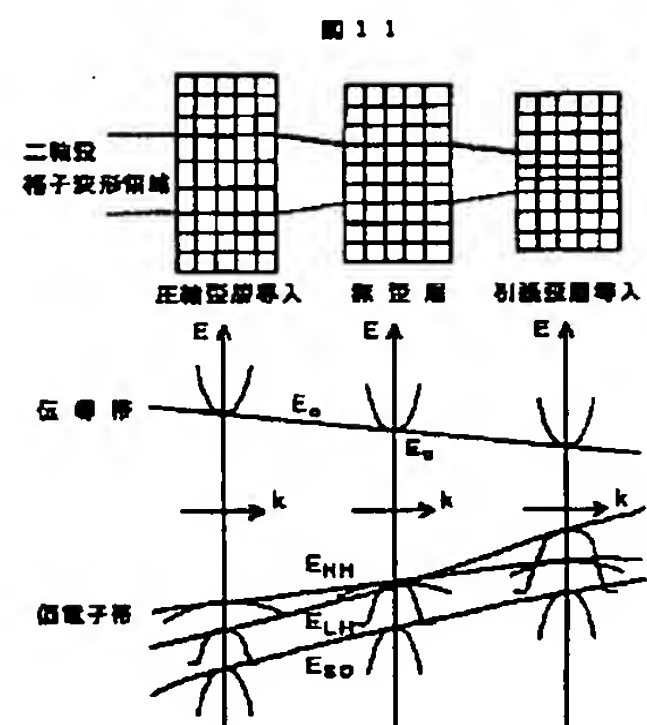
【図10】



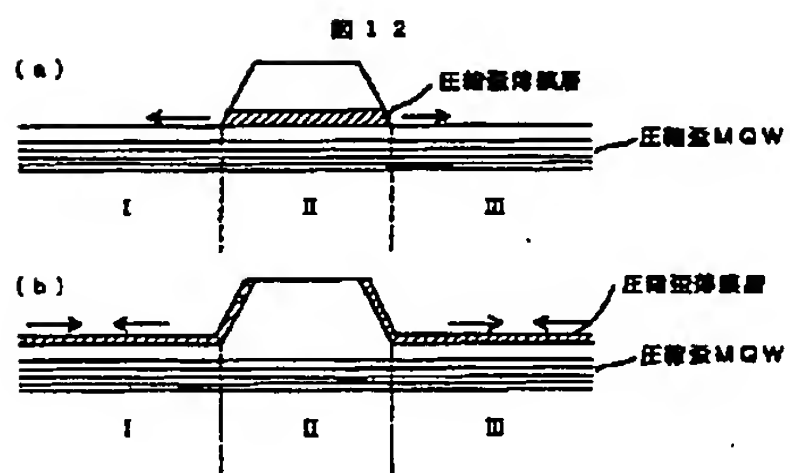
【図9】



【図11】



【図12】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.